

基于认知自选择决策树的垂直切换方法研究

范存群, 王尚广, 孙其博, 邹华, 杨放春

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 在异构无线网络环境下高速移动的终端用户需要随时随地接入网络, 然而, 在垂直切换过程中, 由于终端用户对网络选择的偏好不同以及切换之后网络连接时间和状态难以得到保障, 无法满足用户的切换需求。因此, 提出了一种支持终端用户高速移动的基于认知自选择决策树的垂直切换方法。该方法首先根据网络属性和终端运动趋势建立相应的切换概率分布, 然后根据用户偏好选择相应的决策树进行决策, 最后通过对切换后终端的业务类型和运动状态进行反馈分析, 提出了反馈认知决策方法。仿真结果表明, 所提的方法不仅能够保证高速移动终端在异构无线网络下的切换质量, 而且减少了不必要的切换, 保证了网络的及时更新。

关键词: 异构无线网; 垂直切换; 决策树; 反馈认知

中图分类号: TN929

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)11-0071-10

Vertical handoff research based on cognitive self-selection decision tree

FAN Cun-qun, WANG Shang-guang, SUN Qi-bo, ZOU Hua, YANG Fang-chun

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In heterogeneous wireless network environments, users need to access to the internet anytime, anywhere, even in a high-speed moving process. However, in the vertical handoff process, the preferences of different user and the unstable network status after handoff cannot meet the switching requirement of users. So, a vertical handoff method based on cognitive self-selection decision tree was proposed. Firstly, according to the signal strength, transmission rate, bit error rate, blocking probability and movement trend, the respective handoff probability distribution of them was established and the decisions through the self-selection decision tree was made. Then, a method of feedback cognitive decision in line with the feedback of services and movements on terminals was proposed. Simulation results show that the proposed method can not only ensure the vertical handoff quality of high-speed moving terminals in heterogeneous wireless networks, but also reduce unnecessary handoff and ensure the network update rate.

Key words: heterogeneous wireless network; vertical handoff; decision tree; feedback cognitive

1 引言

随着物联网的提出和发展, 各个网络趋于融合。通过异构网络间的融合, 各个网络可以最大程度地发挥自身的优势, 从而满足用户对网络的需求。随着无线接入技术对终端移动性的支持, 高速移动下

的用户终端可以接入到无线网络, 然而高速移动中的终端在异构无线网络环境下势必会发生较频繁的网络切换。异构无线网络中的网络切换在移动管理技术上按照切换类型可分为水平切换(horizontal handoff)和垂直切换(vertical handoff)。水平切换是指移动终端在同种接入网络之间切换, 垂直切换是指

收稿日期: 2012-09-20; 修回日期: 2013-04-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272521); 教育部博士点基金资助项目(20110005130001); 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET100263); 北京市自然科学基金资助项目(4132048)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61272521); Ph.D Programs Foundation of Ministry of Education (20110005130001); The New Century Talent Supporting Project of Education Ministry (NCET100263); The Natural Science Foundation of Beijing (4132048)

移动终端在不同接入网络之间切换。在高速运动中的终端节点可以通过 3G 或 4G 通信网络接入互联网,但这种接入方式在费用上比较昂贵并且服务质量较差。随着近些年路边接入点的大规模部署,更多的研究考虑使用 IEEE 802.11p 标准或 WiMAX 技术将高速运动的节点接入周边基础设施(AP 接入点和基站),从而实现与互联网的信息交互。

目前,针对异构无线网络下的垂直切换技术,研究者已取得了一些研究成果。例如,为了避免乒乓效应(当网络发生切换时,如果所处的 2 个网络或多个网络信号强度相差不大时,终端会在不同的基站之间发生来回切换,称之为乒乓效应),文献[1,2]分别提出了通过设定固定阈值的迟滞电平算法和驻留定时器算法,2 个算法都以接收器接收到的信号强度(RSS)作为依据。这 2 个算法虽然有效地减少了乒乓效应,但由于采用静态的数值和预置的方式,这种固定且单一的切换时机选择策略在很大程度上推迟了切换触发,降低了切换效率。文献[3]根据终端的运动趋势,提出了一种自适应的垂直切换算法,自适应地调节切换触发条件。在文献[4]中,第一次引入了 WiMAX 网络带宽的计算,基于服务质量提出了 WLAN 与 WiMAX 网络垂直切换算法。文献[5]中首先对终端到基站的距离和终端的速度对传输成本和切换时间花费进行分析,并证明了 WLAN、3G cellular 和 ad hoc 的组合网络在传输成本和切换时间花费上优于其他网络组合的策略。

另外,还有一些研究者主要通过引入认知网络的相关方法^[6-12]来优化异构无线网络下的切换和接入。例如,文献[7]提出了一种优化的频谱感知线性组合结构用于检测微弱的原始信号,结构内的频谱感知是基于个人认知无线电本地数据的线性组合,通过最小化干扰信号来提高频谱利用率。文献[8]中基于长期的信道状态信息进行自我认知,使得 2 个上行的信道接口有能力相互切换来优化信道访问策略。苏伟等人^[9]提出了新的基于终端移动与业务到达认知的动态负载均衡策略。根据业务到达的统计分析结果,通过终端分类与移动建模,创建了一种基于用户小区驻留时间的自适应无线接入控制机制。文献[10]针对认知无线网络提出了一种新的基于业务模型预测的冲突分解算法,算法利用认知节点对用户业务的感知能力对业务进行建模,使用模型预测冲突报文数,同时结合树形分解算法来分解报文冲突。文献[11]中针对多模式终端在异构无线网中的切换问题,提出了 2 个互补的

签名/检测方案,第一个方案依赖于引导符号间冗余度,第二个方案基于所使用的最大序列号。文献[12]中针对认知 MIMO 系统设计了一种空频域机会接入策略。当存在频谱空洞时,认知业务以交叉共享方式实现传输;当无空闲频谱资源可用时,利用授权通信模式信息与系统间干扰信道信息,以重叠共享的方式实现认知业务传输。

虽然上述研究针对乒乓效应、网络选择等垂直切换问题取得了较好的研究成果。但是,在垂直切换时目标网络的选择并没有真正反映终端用户对网络的需求,并且现有的垂直切换技术通常只考虑了当前的网络和终端状态,没有考虑切换后网络和终端的状态,切换后网络连接的时间和终端状态会影响下次切换的判决。本文针对 WLAN、WiMAX 和 3G cellular 之间的垂直切换,首先通过网络属性(信号强度、传输速率、误码率和网络阻塞率)的分析给出网络属性下切换概率的分布,并给出了一种终端运动模型来对终端运动趋势进行分析,得到终端运动趋势下的切换概率分布。然后,根据这些多属性切换概率分布,本文提出了一种基于终端用户自选择的垂直切换决策树方法进行切换决策,最后,在自选择决策树的基础上对切换后的终端状态进行反馈分析,提出了反馈认知决策的方法,通过认知决策来预测和触发下次切换的发生。

2 基于属性的切换选择

影响异构无线网垂直切换的网络属性参数主要有信号强度、传输速率、误码率和网络阻塞率,并且终端运动趋势和业务状态与异构无线网的垂直切换也有着密切的关系。首先给出相关网络属性分析及其切换选择。

2.1 网络属性分析和切换选择

1) 信号强度:目标网络的信号强度作为触发垂直切换的一个最基本的条件,信号强度反映了当前信道的质量。信号强度表达式为

$$RSS(d) = K_1 - K_2 \lg(d) + u(x) \quad (1)$$

其中, K_1 是网络发送功率, K_2 是网络路径损失因子, d 是终端与接入点的距离, $u(x)$ 为服从参数 $(0, s_1)$ 的高斯随机分布函数。则基于信号强度的切换概率为

$$P_{h1} = P(RSS_B(d) > h) \quad (2)$$

其中, $RSS_B(d)$ 为预切换网络信号强度,表示终端接入网络所需要的最小信号强度阈值。

2) 最大传输速率 :传输速率是网络选择的一个重要指标,直接影响终端上业务的质量。根据香农定理可知信道的最大传输速率为

$$C = W \text{lb}(1 + s/n) \quad (3)$$

其中, W 是频带宽度; s/n 是信噪比。则基于传输速率的切换概率为

$$P_{h2} = P(C_B > C_A) \quad (4)$$

其中, C_B 是预切换网络最大传输速率, C_A 是当前网络最大传输速率。

3) 误码率 (BER): 当网络的误码率高于一定阈值时,表明网络不能满足一些业务的需求。为计算误码率,这里采用一般情况下服从高斯随机分布的噪声,假设在终端所处的距离间隔 d_k 中, BER 是信噪比 (SNR) 的函数,可以近似地得到 SNR 。

$$SNR(k) = \frac{RSS(k)}{I(k)} \quad (5)$$

$$BER(k) = Q(\sqrt{SNR(k)}) \quad (6)$$

其中, $I(k)$ 为干扰信号强度, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-t^2/2) dt$ 。

则基于误码率的切换概率可以表示为

$$P_{h3} = P(BER(k) < t) \quad (7)$$

其中, $BER(k)$ 是预切换网络误码率, t 是满足终端业务需要的最大误码率。

4) 网络阻塞率 :当某一区域网络的信道都已被占用,从而导致新的终端业务呼叫将被系统拒绝。各种无线接入技术的信道数取决于各个通信系统的性能参数^[13,14] 根据文献[13,14]中将无线网络覆盖区域进行归一化处理并给出 k 个信道被占用的概率

$$P_k = \frac{\frac{(-1 AX^{-1}e)^k}{k!}}{\sum_{n=0}^m \frac{(-1 AX^{-1}e)^n}{n!}} \quad (8)$$

其中, $k = 0, 1, \dots, m$, m 表示覆盖区域内可用信道的总数量。

因为阻塞率 $p_B = p_m$, 切换概率 $p_{h4} = 1 - p_B$, 所以可得

$$p_{h4} = 1 - \frac{\frac{(-1 AX^{-1}e)^m}{m!}}{\sum_{n=0}^m \frac{(-1 AX^{-1}e)^n}{n!}} \quad (9)$$

其中, A 为终端到达网络的概率矩阵, $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, e 为 $n \times 1$ 阶 1 向量, X 为业务状态分布矩阵,可表示为

$$X = \begin{bmatrix} -u_1 & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & -u_2 & \dots & h_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & -u_n \end{bmatrix}$$

其中,变量 h_{ij} 描述的是状态转移概率, u_i 为终端服务的离开率。

2.2 基于终端状态的切换选择

2.2.1 终端运动趋势

在异构无线网络中进行垂直切换时,必须要考虑运动趋势对垂直切换的影响,由于终端具有移动的特点,运动速度、趋势和终端与接入点 (AP, access point) 的距离都可以影响到网络接入后维持网络的时间以及切换次数等,所以选择接入网络时同样必须考虑终端的运动状态。这里建立基于运动趋势的终端运动模型进行分析,首先给出终端到接入点距离的分析,然后分析模型中终端运动趋势对垂直切换的影响,最后采用距离累积变化和的计算方法来对终端与接入点的相对运动关系进行判断。

一般认为较短时间内终端的运动轨迹是接近直线的,终端的运动趋势与接入点的关系如图 1 所示。通过式(10)计算得到接入点与终端的距离 d 。

$$d = 10^{\frac{K_1 + u(x) - RSS}{K_2}} \quad (10)$$

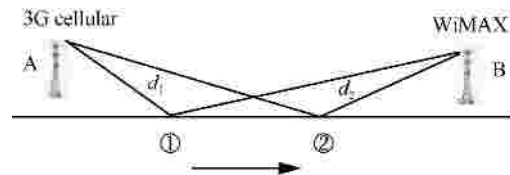


图 1 终端节点与接入点运动模型

由图 1 中终端节点的运动模型可知:当节点处于位置 1 时,与接入点 A 的距离 d_1 小于与接入点 B 的距离 d_2 。在以往的一些研究中^[9,12]提出了基于终端与基站距离的垂直切换方法,这些研究中所考虑的是距离越短对网络接入的选择越佳。然而,在异构无线网络环境下,高速移动的终端必须要考虑接入网络所能维持的时间。当终端运动到位置 2 后,随着运动的继续, d_1 逐渐大于 d_2 ,按照基于距离的切换方法则需要再次进行网络切换。本文这里引入距离累积变化方法,通过终端抽样获取 RSS 的值,

从而计算出抽样时刻终端与基站的距离。在设定的一段时间 T_d 内, 获取到 M 次采样的 RSS_i ($i=1, 2, \dots, M$) 值, 则可以得到 T_d 内距离的累积变化和为

$$\Delta D_d = \sum_{i=1}^{M-1} \left[10^{\frac{K_1+u(x)-RSS_{i+1}}{K_2}} - 10^{\frac{K_1+u(x)-RSS_i}{K_2}} \right],$$

$$i = 1, 2, \dots, M-1 \quad (11)$$

当 $\Delta D_d > 0$ 时, 则判断出终端正在远离网络接入点, 当 $\Delta D_d < 0$ 时, 则判断出终端正在接近网络接入点。终端接入正在靠近的接入点后会一定程度上增加网络维持的时间, 从而减少切换次数。基于运动趋势的切换概率可以表示为

$$P_{h5} = P(\Delta D_d < 0) \quad (12)$$

其中, ΔD_d 表示预切换网络 T_d 内的距离累积变化和。

2.2.2 终端业务状态

目前 3GPP 共定义了 4 类业务流等级, 分别是会话类业务 (conversational services)、流类业务 (streaming services)、交互类业务 (interactive services) 和后台类业务 (background services) [15]。1) 会话类业务: 这是一类典型的实时业务, 要求端到端的延迟和抖动小, 此类业务有语音会话、多媒体会议和 IP 电话等; 2) 流媒体类业务: 这一类业务数据的传输具有单向性, 也是实时业务, 对延迟要求比较宽松, 此类业务有视频点播、网络视频直播等; 3) 交互类业务: 这类业务是请求—响应模式, 对延迟几乎没有要求, 此类业务主要代表为 Web 浏览; 4) 后台类业务: 这类业务通常对传输延迟没有限制, 典型业务如 E-mail 或后台 FTP 下载等。4 类业务根据自身的特点对网络有不同的要求: 会话类业务侧重的是会话质量, 它的实时特性需要在网络切换时对会话的影响要尽量小, 3G cellular 技术可以很好地保证会话的质量, 所以终端业务包含会话类业务时网络的优先级为 3G cellular > WiMAX > WLAN; 流媒体业务数据量比较大, 需要网络有足够的带宽保证和低廉的数据花费, 它对应的网络优先级为 WLAN > WiMAX > 3G cellular; 交互类业务和后台类业务对网络的要求相似, 对延迟要求不高, 数据量也不大, 所以相对应的优先级为 WLAN > WiMAX > 3G cellular。在一般情况下, 终端上的业务可能包含一个或多个业务, 这需要结合用户的偏好综合考虑决策。

3 基于认知自选择决策树的决策方法

本文所提出的基于认知自选择决策树的决策方

法主要分为 2 个阶段: 1) 定义网络选择时的用户偏好, 根据用户自选择下的接入偏好和相关切换概率分布给出基于自选择决策树的决策方法; 2) 分析切换后终端状态反馈, 给出了反馈认知决策方法。

3.1 自选择的切换决策树

根据用户终端对于网络选择的个人偏好, 本文提出了一种在用户终端自选择下的决策树方法进行网络决策选择。首先介绍下本文定义的几类用户偏好: 1) 网络持续优先, 用户终端希望较长时间的接入某个网络而避免发生过多的切换, 保证接入网络持续的时间尽可能大; 2) 网络带宽优先, 用户终端希望所接入的网络拥有较高的传输速率; 3) 网络费用优先, 各个网络所需的通信费用不一, 用户终端希望接入的网络通信花费比较低廉; 4) 业务适应优先, 用户终端在当前业务下, 希望接入的网络尽可能满足终端业务的要求。

在 2.1 节和 2.2 节中给出了基于最大传输速率的切换概率和终端运动趋势的切换概率, 将基于最大传输速率的切换概率作为判决的后决条件, 则可作为用户终端选择网络带宽优先下的决策判断, 将基于终端运动趋势的切换概率作为判决的后决条件, 则可作为用户终端选择网络持续优先下的决策判断。而在网络费用优先和业务适应优先下不具有对应的切换概率分布, 这里引入归一化数值的方法对网络费用和业务优先级进行归一化处理, 归一化数值表示用户对网络的偏好程度, 归一化值越大表明用户对于该网络的偏好程度越高。1) 网络费用归一化处理: 一般认为网络费用的标准在短期内是不发生变化的, 每个网络有固定的收费模式, 这里令每个网络费用对应一个归一化数值 a_i ($0 < a_i < 1$, $i = 1, 2, \dots, L$)。假如 3G cellular 网络费用归一化数值为 a_m , WiMAX 网络费用归一化数值为 a_n , 一般情况下 3G cellular 网络费用高于 WiMAX 网络费用, 有 $a_m < a_n$ 。 a_i 的具体取值情况需要结合实际网络的费用标准。2) 业务适应归一化处理: 通过 2.2 节中终端业务状态的分析, 终端业务对网络选择的影响主要是会话业务。所以本文把终端业务类型分成 2 类: 含有会话类业务和不含有会话类业务。含有会话类业务时网络的优先级为 3G cellular > WiMAX > WLAN, 不含有会话类业务时网络的优先级为 WLAN > WiMAX > 3G cellular。在业务适应归一化处理时需要分别对这 2 个业务类进行归一化数值处理。当含有会话类业务时, 每个网络优先级对应

一个归一化数值 $b_i (0 < b_i < 1, i=1,2,L)$ ，此时 3G cellular 网络优先级归一化数值 b_m 大于 WiMAX 网络优先级归一化数值 b_n 。当不含有会话类业务时，每个网络优先级同样对应一个归一化数值 $g_i (0 < g_i < 1, i=1,2,L)$ ，此时 3G cellular 网络优先级归一化数值 g_m 小于 WiMAX 网络优先级归一化数值 g_n 。基于以上分析，在图 2 中给出了自选择决策树结构。

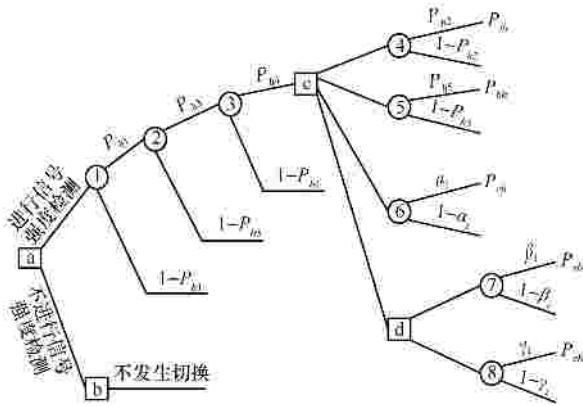


图 2 自选择决策树

在图 2 中，正方形表示决策点(decision node)，树中的决策点表示过程中在这个点需要进行决策选择。圆圈表示事件点(event node)，树中的事件点表示在这个点随机事件的发生。线表示分支。图 2 自选择决策树中的决策点有 a、b、c、d；事件点有 1、2、3、4、5、6、7、8。决策点 a 表示是否对所接收到的信号进行信号强度检测选择；决策点 b 表示在不进行信号强度检测的情况下不发生网络切换；决策点 c 表示用户对优先模式的选择；决策点 d 表示对当前终端业务是否含有会话类业务进行判断选择。事件点 1 表示在检测的信号强度下是否发生切换的随机事件；事件点 2 表示目标网络误码率是否满足发生切换的随机事件；事件点 3 表示目标网络阻塞率是否满足发生切换的随机事件；事件点 4 表示选择网络持续优先下，基于终端运动趋势网络切换发生的随机事件；事件点 5 表示选择网络带宽优先下，基于最大传输速率的网络切换发生的随机事件；事件点 6 表示选择网络费用优先下，基于网络费用归一化数值发生切换的事件；事件 7、8 分别表示选择业务适应优先下含有会话类业务和不含有会话类业务发生网络切换的事件。这里 P_{h_1} 、 P_{h_2} 、 P_{h_3} 、 P_{h_4} 、 P_{h_5} 表示发生的事件分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 、 h_5 。根据自选择决策树可以得到

$$P_{th_i} = P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3)P(h_5|h_1h_3h_4) \quad (13)$$

$$P_{bh_i} = P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3)P(h_2|h_1h_3h_4) \quad (14)$$

$$P_{ch_i} = P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3)a_i \quad (15)$$

$$P_{sh_i} = P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3)b_i \quad (16)$$

$$P_{eh_i} = P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3)g_i \quad (17)$$

其中， $P(h_1)P(h_3|h_1)P(h_4|h_1h_3) = P(h_1h_3h_4)$ 。

在异构无线网络覆盖下：用户终端选择网络持续优先时，如果存在 $P_{th_i} = \max(P_{th_1}, P_{th_2}, \dots, P_{th_n})$ ， i 表示第 i 个目标网络， n 表示目标网络总数，并且 $P_{th_i} > P_{th_0}$ ， P_{th_0} 为当前网络进行自选择决策树后的参考比较值，则选择第 i 个目标网络进行网络切换选择，如果 $P_{th_i} \leq P_{th_0}$ ，则放弃网络切换选择，继续保持当前网络连接。用户终端选择网络带宽优先时，如果存在 $P_{bh_i} = \max(P_{bh_1}, P_{bh_2}, \dots, P_{bh_n})$ ，并且 $P_{bh_i} > P_{bh_0}$ 时，则选择第 i 个目标网络进行网络切换选择，如果 $P_{bh_i} \leq P_{bh_0}$ ，则放弃网络切换选择，继续保持当前网络连接。用户终端选择网络费用优先时，如果存在 $P_{ch_i} = \max(P_{ch_1}, P_{ch_2}, \dots, P_{ch_n})$ ，并且 $P_{ch_i} > P_{ch_0}$ ，则选择第 i 个目标网络进行网络切换选择，如果 $P_{ch_i} \leq P_{ch_0}$ ，则放弃网络切换选择，继续保持当前网络连接。用户终端选择业务适应优先时，如果用户终端当前业务含有会话类业务且存在 $P_{sh_i} = \max(P_{sh_1}, P_{sh_2}, \dots, P_{sh_n})$ ，并满足 $P_{sh_i} > P_{sh_0}$ 时，则选择第 i 个目标网络进行网络切换选择，如果 $P_{sh_i} \leq P_{sh_0}$ ，则放弃网络切换选择，继续保持当前网络连接。如果用户终端当前业务不含有会话类业务且存在 $P_{eh_i} = \max(P_{eh_1}, P_{eh_2}, \dots, P_{eh_n})$ ，并满足 $P_{eh_i} > P_{eh_0}$ 时，则选择第 i 个目标网络进行网络切换选择，如果 $P_{eh_i} \leq P_{eh_0}$ ，则放弃网络切换选择，继续保持当前网络连接。

3.2 终端状态的反馈认知决策

在通过自选择决策树进行切换选择并发生网络切换后，终端运动趋势的变化以及终端业务状态的变化会在一定程度上对下次切换的判决产生影响。

3.2.1 切换后终端状态反馈分析

可以影响下次决策的终端状态变化主要是运动趋势和终端业务的变化。当用户选择业务适应优先时，终端业务的变化可能会影响到其他业务的质量；当用户选择网络持续优先时，终端运动状态的变化会影响到已接入网络持续的时间，下面给出 2

种状态的反馈分析。

1) 终端业务状态反馈分析

用户终端选择业务适应优先时，由 2.2 节中终端业务状态分析可知，对切换决策的影响主要是会话类业务的变更，终端业务的变更有 2 种情况。终端由含有会话类业务变更为不含有会话类业务。当终端含有会话类业务时，在进行自选择决策树进行网络切换选择后，某个时刻终端断开了会话类业务。终端在紧接着的自选择决策树进行选择决策时，在图 2 决策树中决策点 d 选择不含有会话类业务分支进行决策选择。这种终端业务的变化会引发新一次的网络决策选择，但对终端上业务质量的影响并不大。终端由不含有会话类业务变更为含有会话类业务。当终端不含有会话类业务时，在进行自选择决策树进行网络切换选择后，某个时刻终端接入了会话类业务。这样在紧接着下一次的网络决策计算时会引起网络再次切换，如果切换发生则极有可能造成会话的中断，影响会话质量。所以这种情况下需要针对终端业务的变化进行反馈认知决策来改善新增会话类业务的质量。

2) 终端运动状态反馈分析

用户终端选择网络持续优先时，在相同网络参数情况下，终端节点会优先接入正趋于接近的网络，在完成切换后，终端运动状态的变化会对下一次切换产生影响。

如图 3 所示，终端在位置 1 处接入基站 A，假如在位置 2 处进行自选择决策树进行网络切换选择，终端接入到基站 B 覆盖的无线网络，到位置 3 处则切换到基站 C 覆盖的无线网络。由上述分析可知，在区域内基站分布比较密集的情况下，发生切换的次数就会增多。在图 3 中，如果终端在位置 3 处基站 C 覆盖的网络也能满足终端上业务的要求，在位置 3 时接入基站 C 覆盖的网络后，在位置 4 处则不需要再次发生网络切换，减少了切换发生的次数，增加了网络的持续稳定时间。终端速度的变化也会对网络持续时间产生影响，运动速度越快的终端接入网络所能持续的时间越短，而当终端运动方向发生改变时，可能会增加或减少网络持续时间。

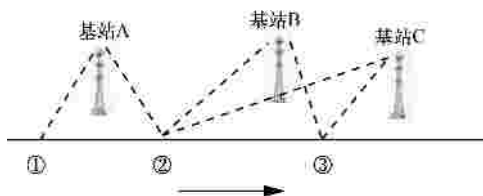


图 3 终端运动反馈分析

3.2.2 基于终端状态的反馈认知决策

终端业务状态和终端运动状态的变化可能会对下次的切换产生影响。通过对上述 2 种状态进行分析后，根据终端状态的具体变化情况，反馈终端切换，并在反馈的基础上进行网络认知，从而实现基于终端状态的反馈认知决策方法。

1) 终端业务状态反馈认知决策

终端用户在业务适应优先下，终端会话类业务的变更会导致网络切换的发生，而网络的切换发生在业务变更之后，具有一定的滞后性。对于由不含有会话类业务变更为含有会话类业务时，网络切换的发生容易造成会话的中断，这种情况下，网络的切换应具有及时性。这里提出了一个业务反馈认知决策方法，通过会话发起呼叫请求，即终端发送或者接收到呼叫请求信令 INVITE 时，则立即触发自选择决策树进行选择切换网络，在反馈自选择决策树决策选择时，决策点 d 处选择当前含有会话类业务的树分支进行决策选择。当终端发送或者接收到消息信令 BYE (会话终止) 和 CANCEL (呼叫取消) 时，则在反馈自选择决策树时，决策点 d 处选择当前不含有会话类业务的树分支进行决策选择，算法具体实现如图 4 所示。

2) 终端运动状态反馈认知决策

在用户选择网络持续优先下，多基站的分布下按照自选择决策树进行决策选择网络时，同样会造成过多的网络切换，降低网络的持续时间，为提高网络持续稳定时间和避免多余的切换，这里通过引入预测的近似网络持续时间进行反馈认知。在分析反馈认知决策方法前，首先给出终端平均速度估算方法。

```
SessionRequest = INVITE ; //会话请求信令
SessionTermination = BYE ; //会话终止信令
CancelCall = CANCEL ; //取消呼叫
if ReceiveMessage (ReceiveMessage=INVITE) ; //终端接收到会话请求信令
    在决策点 d 处选择含有会话类业务进行决策
    ReceiveMessage (ReceiveMessage=BYE) ; //终端接收到会话终止信令
    在决策点 d 处选择不含有会话类业务进行决策
    ReceiveMessage (ReceiveMessage=CANCEL) ; //终端接收到呼叫取消信令
    在决策点 d 处选择不含有会话类业务进行决策
    ReceiveMessage (ReceiveMessage=NULL) ; //终端未接收到消息信令
    不进行决策计算
```

图 4 基于终端业务状态反馈认知决策

终端节点在移动的整个过程是变速运动的，因此对于终端移动速度的研究一般是取一定周期时间 T_V 内终端的平均速度。终端自身的测速功能可以在周期时间 T_V 内采样获取 N 个瞬时速度值，并通过对这些瞬时速度值取均值。按照应用需要，周期 T_V 根据实际情况而定，周期 T_V 内终端节点的平均移动速度可表示为

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} V_j, j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (18)$$

其中， V_j 为终端节点的第 j 个速度样值。

图 5 为网络持续时间预测模型，图 5 中 A 点表示终端节点经过自选择决策树进行网络决策选择后接入到新的网络 W 所发生切换的位置，B 点表示终端经过一小段时间 Δt 后到达的位置。网络持续时间预测计算如下：

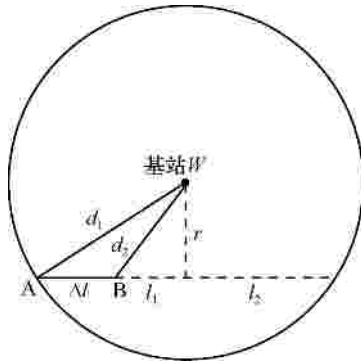


图 5 持续时间预测模型

$$\begin{cases} d_1^2 = r^2 + (\Delta l + l_1)^2 \\ d_2^2 = r^2 + l_1^2 \end{cases} \quad (19)$$

其中 $l_1 = \frac{d_1^2 - d_2^2 - \Delta l^2}{2\Delta l}$ ， $\Delta l = \bar{V}\Delta t$ 。因为 $l_2 = l_1 + \Delta l$ ，

则预测的网络持续时间为

$$t_c = \frac{2l_2}{\bar{V}} = \frac{d_1^2 - d_2^2 + \bar{V}^2 \Delta t^2}{\bar{V}^2 \Delta t} \quad (20)$$

在通过自选择决策树进行网络选择时，当有 m 个网络满足 $P_{th_j} > 0.5, j = 1, 2, \dots, m$ ，即这 m 个网络满足发生切换的概率大于不发生切换的概率。有 $P_{th_j} t_{c_j} = \max(P_{th_1} t_{c_1}, P_{th_2} t_{c_2}, \dots, P_{th_m} t_{c_m})$ ，则选择第 j 个网络作为目标切换网络。为避免终端运动方向改变导致过多的切换发生，这里通过网络边缘信号强度和运动趋势来触发下次切换。

由于预测的网络持续时间并不能总是真实地

反映终端接入网络的持续时间，当终端运动方向发生改变时，可能会增加网络持续时间或者减少网络持续时间。假如上次发生网络切换的时刻为 t_1 ，此时有已选择切换的目标网络的切换实值概率参数： $P_{h_1}(t_1)$ 和 $P_{h_2}(t_1)$ 。在网络持续优先下，当 $P_{h_1}(t) > P_{h_1}(t_1)$ 时，则不需要进行自动更新网络并判决，但当满足了下次切换的触发条件：终端的运动趋势是离开当前网络并且当前网络即将不能保证网络服务质量，即在某时刻 t_0 处，终端状态满足切换概率： $P_{h_1}(t_0) = P_{h_1}(t_1)$ 和 $P_{h_2}(t_0) = 1 - P_{h_2}(t_1)$ 时，则立即触发下一轮的自选择决策树进行网络切换选择。

4 仿真分析

本节通过构建仿真实验场景来对所提自选择反馈认知切换方法进行验证。为了体现方法的有效性，仿真中分别针对 4 种不同的优先模式，主要从仿真过程的总切换次数、具体切换情况（切换位置、切换类型、目标网络）以及整个过程中终端所能获得的最大吞吐率这几个方面进行验证。

4.1 仿真实验场景

仿真实验场景如图 6 所示，场景模型参数主要有：A 点坐标为 [10,200]，B 点坐标为 [210,200]，C 点坐标为 [210,0]，A 与 B 相距 20 km，B 与 C 相距 20 km，WiMAX1 基站坐标为 [110,245]，WiMAX2 基站坐标为 [210,200]，WiMAX3 基站坐标为 [245,130]，WiMAX4 基站坐标为 [185,115]，3G cellular 全场景覆盖，3G cellular 1 基站坐标为 [60,160]，3G cellular 2 基站坐标为 [210,160]，3G cellular 3 基站坐标为 [135,30]。终端经过 B 点从 A 点运动到 C 点，为便于分析，假设整个过程终端在 60 km/h 的速度下匀速运动，在开始从 A 点移动后的 540 s 时有视频会话接入，并且在 660 s 时结束视频会话。在从坐标位置 [210,85] 到 C 点 [210,0] 这段区域中，终端节点比较密集，通过 WAVE 技术组成自组网络。

网络仿真参数如下：WAVE 的覆盖区域内信号强度稳定，强度约为 -95 dBm，计算时采用固定值强度 -95 dBm，接入带宽为 27 Mbit/s；WiMAX 的覆盖半径约为 10 km，接入带宽为 45 Mbit/s，发送功率为 25 dBm，路径损失为 35 dBm，参数 s_1 为 8 dBm；3G cellular 全覆盖，接入带宽为 2 Mbit/s，发送功率为 30 dBm，路径损失为 33 dBm，参数 s_1 为 6 dBm。最大误码率阈值 t 为 0.006，支持当前业务所需最

小传输速率 C_0 为 120 kbit/s。最小信号强度阈值 h 为 -110 dBm, 干扰信号强度为 $-130+u(x)$ dBm, $u(x)$ 为服从参数为 $(0, s_2)$ 的正态随机分布, s_2 为 10 dBm。

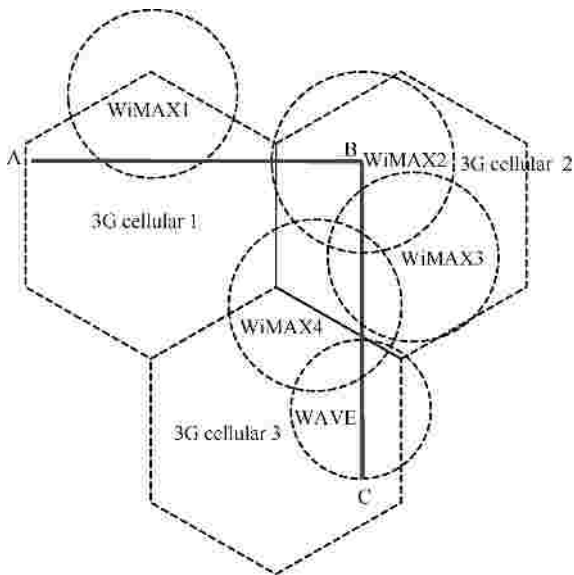


图 6 仿真场景

仿真实验在一台 PC 机上进行, 配置为: CPU Core i3-2310M 2.10 GHz, RAM 为 2 GB, Windows 7 操作系统。实验仿真系统通过 Java (Java 1.6) 语言编写实现, 实验所涉及的函数计算通过调用 Apache 数学函数库进行计算评估。

4.2 仿真实验结果

实验中, a_i 、 b_i 、 g_i 在 i 为 1、2、3 时分别对应 3G cellular、WiMAX 和 WAVE 归一化参数, 其

中, $a_1 = 0.2$, $a_2 = 0.4$, $a_3 = 1$; $b_1 = 1$, $b_2 = 0.6$, $b_3 = 0.4$; $g_1 = 0.35$, $g_2 = 0.7$, $g_3 = 1$ 。概率比较参考值 $P_{th_0} = 0.6$, $P_{bh_0} = 0.6$, $P_{ch_0} = 0.5$, $P_{sh_0} = 0.5$, $P_{eh_0} = 0.5$ 。仿真实验中, 每间隔 6 s 进行一次网络更新并判决。

4.2.1 切换情况

如表 1 所示, 给出了通过仿真实验得到的 4 种优先模式下网络切换的具体情况。根据表 1 的切换情况, 整个仿真过程中同时存在垂直切换与水平切换, 4 种优先模式下的总切换次数如图 7 所示。在网络持续优先下, 切换次数为 5 次, 其中有 4 次垂直切换和 1 次水平切换; 在网络带宽优先下, 切换次数为 6 次, 其中有 4 次垂直切换和 2 次水平切换; 在网络费用优先下, 切换次数为 6 次, 其中有 4 次垂直切换和 2 次水平切换; 在业务适应优先下, 切换次数为 8 次, 其中有 6 次垂直切换和 2 次水平切换。与目前使用比较多的 RSS 模糊判决切换算法 (15 次切换) 和 SNR 差值触发切换算法 (11 次切换) 相比, 基于认知自选择决策树的垂直切换方法明显地减少了切换的次数。这是因为自选择决策树中采用多条件下切换概率的计算, 不但考虑了当前的网络还考虑到目标网络所能提供的服务质量以及终端运动对网络的影响, 这在很大程度上消除了 2 个网络近似时不必要切换的发生, 并且反馈认知决策提高了网络切换的服务质量和网络持续稳定时间。仿真实验中设置了每 6 s 进行一次切换计算(时间间

表 1 网络切换具体情况

次数	模式			
	持续优先	带宽优先	费用优先	业务优先
1	7 600 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX1	7 600 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX1	7 600 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX1	7 600 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX1
2	12 425 m 处由 WiMAX1 切换到 3G cellular 1	12 400 m 处由 WiMAX1 切换到 3G cellular 1	12 400 m 处由 WiMAX1 切换到 3G cellular 1	9 025 m 处由 WiMAX1 切换到 3G cellular 1
3	15 100 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX2	15 100 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX2	15 100 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX2	11 100 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX1
4	24 800 m 处由 WiMAX2 切换到 WiMAX4	24 400 m 处由 WiMAX2 切换到 WiMAX3	24 200 m 处由 WiMAX2 切换到 WiMAX3	12 300 m 处由 WiMAX1 切换到 3G cellular 1
5	32 100 m 处由 WiMAX4 切换到 WAVE	26 700 m 处由 WiMAX3 切换到 WiMAX4	26 700 m 处由 WiMAX3 切换到 WiMAX4	15 100 m 处由 3G cellular 1 切换到 WiMAX2
6	—	31 600 m 处由 WiMAX4 切换到 WAVE	31 600 m 处由 WiMAX4 切换到 WAVE	24 200 m 处由 WiMAX2 切换到 WiMAX3
7	—	—	—	26 800 m 处由 WiMAX3 切换到 WiMAX4
8	—	—	—	31 600 m 处由 WiMAX4 切换到 WAVE

隔可以根据实际情况的需要进行设置),并且每次计算花费的时间在 200 ms 以内,这样使得相比于基于固定门限 RSS 的切换算法和基于驻留定时器的切换算法更具有及时性。

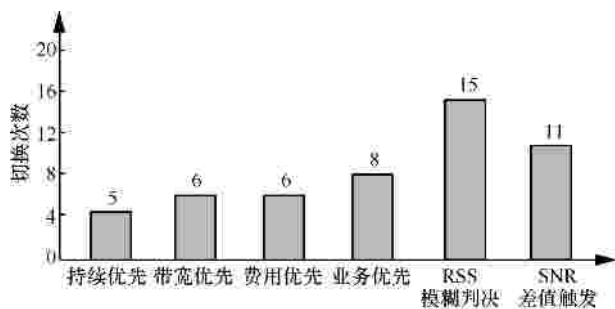


图 7 过程切换次数

4.2.2 最大吞吐率

仿真中,给出了整个过程中终端在 4 种优先模式下所能获得的最大吞吐率,如图 8 所示。由于自选择决策树方法中对于目标网络的质量考虑比较充分,所以对于获取的切换后网络的吞吐率得到了很好的保证,并且对比仿真场景可以看出,相对应的吞吐率体现了在某个优先模式下当前所能接入的最优网络。

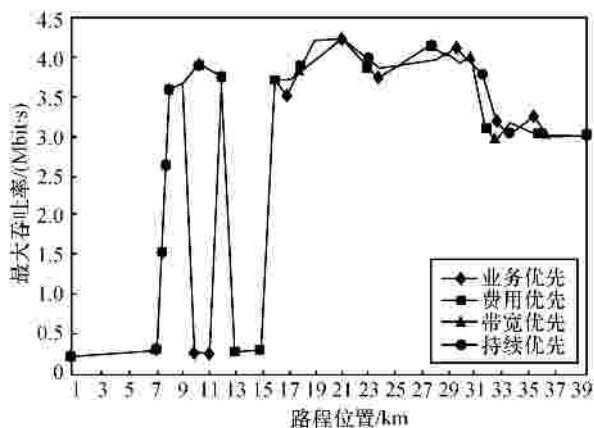


图 8 最大吞吐率

5 结束语

本文提出了一种基于认知自选择决策树的垂直切换方法,用于移动终端在 WLAN、WiMAX 和 3G cellular 无线接入技术之间的垂直切换和水平切换。通过用户偏好选择下的决策树进行选择决策,并通过终端的业务和运动状态进行反馈认知决策来避免业务变更和运动变化带来的负面影响。仿真结果表明,本文所提出的方法适用于高速运动中的

终端在 WLAN、WiMAX 和 3G cellular 无线接入技术之间的垂直切换与水平切换,能很好地减少不必要切换的发生,避免了乒乓效应,保证网络更新和切换的及时性。并且在用户选择的模式下,所切换的目标网络是最优网络,体现了终端用户对网络的具体需求。在下一步的研究中,将针对网络切换中用户偏好的网络需求进行优化,从而进一步提高网络切换的质量。

参考文献:

- [1] PANDE M, MAKELA J, MAHONEN P. Optimization scheme for mobile users performing vertical handoffs between IEEE 802.11 and GPRS/EDGE networks[A]. Proc GLOBECOM[C]. San Antonio, USA, 2001. 3439-3443.
- [2] BUDDHIKOT M, CHANDRANMENON G, HAN S, *et al.* Integration of 802.11 and third-generation wireless data networks[A]. INFOCOM 2003[C]. San Francisco, USA, 2003. 503-512.
- [3] LIU M, LI Z C. Performance evaluation of vertical handoff decision algorithms in heterogeneous wireless networks[A]. Proc of GLOBECOM[C]. San Francisco, USA, 2006. 1-5.
- [4] MA D, MA M D. A QoS-based vertical handoff scheme for interworking of WLAN and WiMAX[A]. Proc of GLOBECOM[C]. Honolulu, USA, 2009.1-6.
- [5] SHAFIEE K, ATTAR A, LEUNG V. Optimal distributed vertical handoff strategies in vehicular heterogeneous networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(3):534-544.
- [6] AKYILDIZ I F, LEE W Y, VURAN M, *et al.* Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey[J]. Computer Networks, 2006,50(13):2127-2159.
- [7] QUAN Z, CUI S X G, SAYED A H. Optimal linear cooperation for spectrum sensing in cognitive radio networks[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2008, 2(1):28-40.
- [8] GAMBINI J, SIMEONE O, BAN-NESS Y, *et al.* Packet-wise vertical handover for unlicensed multi-standard spectrum access with cognitive radios[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(12):5172-5176.
- [9] 苏伟,刘琪,袁坚等. 基于终端移动与业务到达认知的自适应无线接入控制机制[J]. 电子学报, 2011,39(9):2148-2153.
- [10] SU W, LIU Q, YUAN J, *et al.* Adaptive radio access control scheme based on terminal mobility and service arriving cognition[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(9):2148-2153.
- [11] 杨双懋,郭伟,唐伟. 认知无线网络中基于时间序列预测的冲突分解算法[J]. 通信学报, 2011,32(11):51-58.
- [12] YANG S M, GUO W, TANG W. Collision resolution algorithm based on time-series forecasting for cognitive wireless networks[J]. Journal

on Communications, 2011,32(11):51-58.

[11] SOCHELEAU F X, HOUCKE S, CIBLAT P, *et al.* Cognitive OFDM system detection using pilot tones second and third-order cyclostationarity[J]. Signal Processing, 2011, 91(2):252-268.

[12] 李钊,李建东,肖丽媛. 认知 MIMO 系统基于授权通信模式信息的空频域机会接入[J]. 通信学报, 2012,33(1):38-44.

LI Z, LI J D, XIAO L Y. Spatio-frequency domain opportunistic access in CR-MIMO system based on primary transmission mode information[J]. Journal on Communications, 2012,33(1):38-44.

[13] CHANDY B, PALACIOS M. Open closed and mixed networks o queues with different classes of customers[J]. Journal of the ACM, 1975, 22(2):248-260.

[14] 李常茗,李承恕. 一种异构无线通信系统垂直切换分析方法[J]. 铁道学报, 2009,31(5):118-124.

LI C M, LI C S. Vertical handover of heterogeneous wireless communications system[J]. Journal of the China Railway Society, 2009,31(5): 118-124.

[15] NAVARRO S, WONG W S. Comparison between vertical hando f decision algorithms for heterogeneous wireless networks[A]. Vehicular Technology Conference (VTC 2006-Spring) IEEE 63rd[C]. Melbourne, 2006.947-951.

作者简介：



范存群 (1986-), 男, 江苏南通人, 北京邮电大学博士生, 主要研究方向为物联网安全和车联网技术。



王尚广 [通信作者] (1982-), 男, 河南周口人, 博士, 主要研究方向为服务计算、车联网技术及网络安全。E-mail: sgwang@bupt.edu.cn.



孙其博 (1975-), 男, 河南郑州人, 博士, 北京邮电大学副教授, 主要研究方向为服务计算、物联网和网络安全。



邹华 (1969-), 女, 四川成都人, 博士, 北京邮电大学教授, 主要研究方向为智能网络和服务计算。



杨放春 (1957-), 男, 北京人, 博士, 北京邮电大学教授, 主要研究方向为智能网络、服务计算和交换技术。